

天然および水槽培養下における褐藻ホンダワラの成長様式

吉田吾郎¹・八谷光介^{2, 3}・寺脇利信^{4, 5}

¹ (独) 水産総合研究センター瀬戸内海区水産研究所 (〒739-0452 広島県廿日市市丸石 2-17-5)

² 京都府立海洋センター (〒626-0052 京都府宮津市字小田宿野)

³ 現所属: (独) 水産総合研究センター西海区水産研究所 (〒851-2213 長崎県長崎市多以良町 1551-8)

⁴ (独) 水産総合研究センター経営企画部 (〒220-6115 神奈川県横浜市西区みなとみらい クイーンズタワー B・15 階)

⁵ 現所属: (独) 水産総合研究センター水産工学研究所 (〒314-0408 茨城県神栖市波崎 7620-7)

Goro Yoshida¹, Kousuke Yatsuya^{2, 3} and Toshinobu Terawaki^{4, 5}: Growth pattern of the large brown alga *Sargassum fulvellum* in the natural habitat and outdoor culture. Jpn. J. Phycol. (Sôri) 56: 1–8, March 10, 2008

Growth pattern of the edible brown alga *Sargassum fulvellum* was investigated for plants growing in a natural habitat in Hiroshima Bay and cultured in an outdoor tank. Both plants exhibited the same seasonal growth pattern, i. e., elongated new primary branches after summer till winter when they reached the annual maximum length and produced receptacles. The cultured plants produced three to five new primary branches per plant per year. The most abundant growth of the primary branches occurred during ages 1 and 2 of all plants, and mean plant length reached about 150 cm. At age 3, plants showed suppressed branch growth, though production of new primary branches and receptacles occurred continuously. Approximately 15 primary branches were produced per plant during the longest life span (4.5 years) observed for the cultured plants. Age distribution of the natural *S. fulvellum* population in Hiroshima Bay was estimated from the stem height increasing with age in the cultured plants. The age was ranged between 1–3 and younger (age 1–2) plants were the main components of the population in the reproductive season.

Key Index Words: age, growth pattern, primary branch, *Sargassum fulvellum*

¹National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research Agency, Maruishi 2-17-5, Hatsukaichi, Hiroshima, 739-0452, Japan

²Kyoto Institute of Oceanic and Fishery Science, Odasyukuno, Miyazu, Kyoto, 626-0052 Japan

³Present address: Seikai National Fisheries Research Institute, Taira 1551-8, Nagasaki, Nagasaki, 851-2213 Japan

⁴Fisheries Research Agency, Queen's Tower-B 15F, Minato-mirai, Nishi-ku, Yokohama, Kanagawa, 220-6115 Japan

⁵Present address: National Research Institute of Fisheries Engineering, Hazaki 7620-7, Kamisu, Ibaraki, 314-0408 Japan

ホンダワラ *Sargassum fulvellum* (Turner) C. Agardh は我が国の三陸沿岸を除く本州、四国と九州の南部を除く沿岸に分布する褐藻ホンダワラ類の 1 種である (吉田 1998)。本種は沿岸域の生物生産に重要な役割を果たすガラモ場を構成するだけでなく、秋田県から島根県までの日本海側の地域では食用として利用されている (池原 1987, 有用海藻増殖研究会 2005)。

ホンダワラは仮盤状の付着器から直立した茎を生じ、さらに茎の頂端から数本の主枝をらせん配列に生じて、その全長は 1–2 m に達する。成熟期は冬から春である (吉田 1998)。本種は 1 年生であると記載されている (岡村 1936, 吉田 1998) が、増養殖に関する試験研究では、本種の種苗が採苗後 2 年目以降に伸長し、成熟することも報告されている (三浦・中林 1999, 2000, 2001, 2002)。比較的多くの種で生態学的な調査が行われているホンダワラ類の中にあつて、本種に関する調査例はほとんど無いことから、その天然の生活史は不明のままである。

また、近年海藻食に対して社会的な関心が高まっており、ホンダワラは同属のアカモク *S. horneri* (Turner) C. Agardh とともに、全国的な消費の拡大が期待されている (秋田県・

京都府 2005)。したがって今後増養殖を進める観点からも、本種が本来有する寿命や利用に適したサイズにまで成長する期間、また藻体の主要部を占める主枝の形成機構など、基礎的な生物学的特性を把握する必要がある。

以上の目的のため、本研究では、瀬戸内海・広島湾における本種の天然個体群の季節消長を把握するとともに、幼胚を採集して屋外水槽で長期の培養を試み、その成長と成熟、培養下での生存期間や、主枝の形成・伸長過程などを明らかにした。また、培養個体の観察から、年齢形質としての茎高の有用性を検討したので合わせて報告する。

材料と方法

天然個体群の観察

天然個体群の調査は、広島湾の湾央部に位置する阿多田島 (広島県大竹市) の南東岸の観音鼻において実施した。同地では、D. L. 基準水深で 2–5 m の岩礁域にノコギリモク *S. macrocarpum* C. Agardh の優占群落が形成されており、ホンダワラをはじめマメタワラ *S. piluliferum* (Turner) C. Agardh, ヤツマタモク *S. patens* C. Agardh が混生する (寺脇ら 2001)。

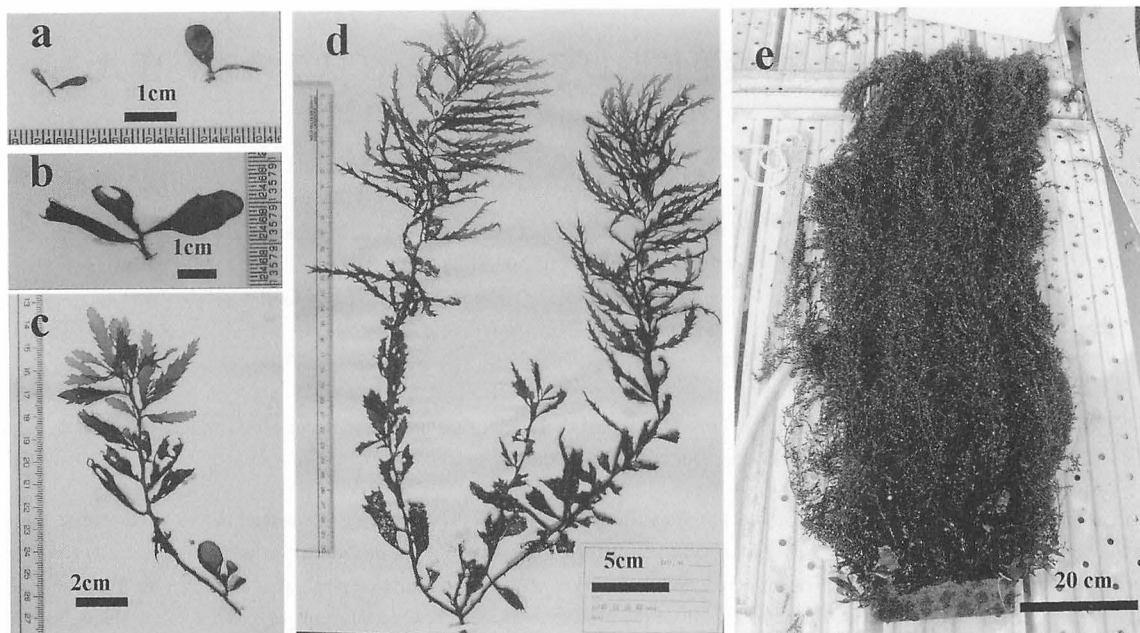


Fig. 1. Morphology of *Sargassum fulvellum* plants along the developmental stages. a. young plant stage with cauline leaves; b. stem formation stage; c, d. stages with primary branch elongation; e. maturation stage with primary branches bearing receptacles (plants attached to an experimental substratum).

2000年4月から2001年2月まで2カ月毎に計6回、調査地のノコギリモク群落内の5 mの水深帯で、1辺50 cmの方形枠を3枠設置し、枠内に出現した視認できるサイズの直立海藻類を全て付着器から採集した。採集物中のホンダワラの中には様々な成長段階の個体が混じっていたため、三浦・中林(2002)による成長区分に準じ、1) 幼体期、2) 茎形成期、3) 主枝伸長期および4) 成熟期に分類した。すなわち、発芽以後数枚の茎葉を展開し、平面的な成長を示す幼体期 (Fig. 1a), 連続的に形成された茎葉間に間隔が生じ、茎として視覚的に明瞭になる時期を茎形成期 (Fig. 1b), 複数の主枝が茎の頂端に順次生じ伸長する時期を主枝伸長期 (Fig. 1c, d), また、伸長した主枝に生殖器床が形成される時期を成熟期 (Fig. 1e) とした。三浦・中林 (2002) は、伸長した主枝に気胞が形成される時期を気胞形成期とし、主枝伸長期とは区別している。しかし、本研究では、主枝を有している未成熟の個体は気胞の有無に関

わらず全て主枝伸長期に分類した。採集された各成長区分の個体数を数え、生育密度と出現頻度を求めるとともに、全長等の藻体サイズを測定した。幼体期、茎形成期の個体については、付着器底面から、全ての葉を上方に伸ばした最大到達点までの距離を全長として測定した。主枝伸長期と成熟期の個体については、全長、茎高、主枝の数とそれぞれの長さ、及び生殖器床の有無を記録した。茎高については、付着器の底面から茎の頂端までの高さとした (Fig. 2)。

方形枠による採集とは別に、最大全長の季節変化を把握するため、2000年10月、12月、2001年1月、2月、3月、4月、6月及び8月に、ノコギリモク群落内に混生する大型のホンダワラを6–10個体採集し、全長と茎高の測定、生殖器床の有無の確認を行った。

屋外水槽で培養した個体の観察

2001年3月21日に、阿多田島地先で成熟した雌雄各4個体のホンダワラを採集し、瀬戸内海区水産研究所に持ち帰った。各個体から生殖器床を有した主枝を1本ずつ切り取り、屋外に設置したコンテナ (縦60 cm, 横40 cm, 深さ15 cm) 内に収容し、ネットで固定した。コンテナ内にはあらかじめ幼胚着生用の基質としたレンガ (縦20 cm, 横10 cm, 高さ6 cm) を6基設置し、砂濾過海水をかけ流した。この時点で雌性個体ではすでに放卵が見られていた。

2001年4月10日には基質上に1 mm程度の発芽体が多数確認されたので、母藻とした主枝を全て除去した。4月24日に基質を水深1.2 mの円形水槽 (海水容量10トン) に移した。その後、2002年9月までは毎月、それ以降は2–3カ月ごとに、基質上の個体の成長区分、全長、茎高、主枝数とそれぞれの長さ、生殖器床の有無を記録した。順次形成される主枝については、

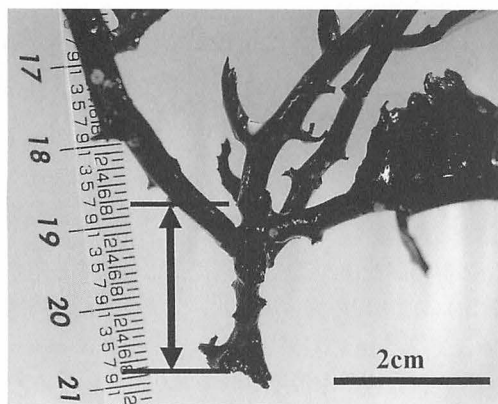


Fig. 2 Height of stem (indicated by an double-headed arrow) used in age determination of *S. fulvellum* plants in this study.

茎上の位置からその発出順を特定し、下方のものから第1主枝、第2主枝…のように識別した。藻体の観察・測定は2001年11月までは、全基質から無作為に選んだ10個体について行った。翌12月には、基質上のホンダワラは、第1主枝が伸長し15 cm以上に達した個体と、第1主枝がほとんど伸長を示さずその長さが5 cm以下の個体の2群に明瞭に分かれた。便宜上、前者をA群、後者をB群と呼称し、A群については2基の基質上の全個体(6個体)、またB群については同じ基質上から無作為に選んだ6個体の茎に標識をつけて個体識別した。2001年12月以降の藻体の観察・測定は識別した個体についてのみ行い、途中で枯死した個体の補充は行わなかった。なお、標識個体の年齢は、培養を開始した2001年4月を基準として2002年3月までを0歳とし、それ以降1年ごとに1歳ずつを加えた。

基質上の生育密度は、円形水槽での培養を開始した2001年4月24日には、1つの基質について3 cm²分の幼体を掻き落して求めた。また2002年4月以降は、個体を標識した2基の基質上における全個体数を計数して求めた。

円形水槽には砂濾過海水を毎分約40 Lで注水し、水面まで直立させたパイプから排水した。週に数回、同水槽中の水温を午前9時から10時の間に測定した。実験期間を通じて、円形水槽中のホンダワラ藻体上では、珪藻類など付着生物の増殖はほとんど見られなかった。

結果

天然個体群の観察

阿多田島観音鼻におけるホンダワラの生育密度をFig. 3に、

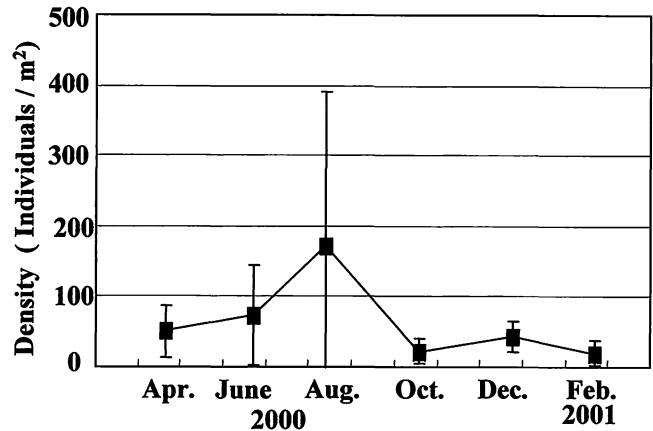


Fig. 3. Seasonal change in plant density (mean of three quadrates with SD) of *S. fulvellum* plants in a *S. macrocarpum* dominant community at Atada-jima Is., Hiroshima Bay.

また、各成長区分の出現頻度をFig. 4に示した。2000年4月に51個体/m²であった生育密度は夏季にかけて増加し、8月には172個体/m²と年間で最大となった。生育密度は10月以降冬季にかけて低くなり、成熟期の2001年2月には20個体/m²であった(Fig. 3)。4月には、放卵を終え主枝の一部が枯死した成熟期の個体から、全長1 cm程度の幼体期まで、全ての成長区分の個体が出現した(Fig. 4)。6月には成熟期の個体は見られなくなり、66%の個体が主枝伸長期にあって、1–10 cm程度の若い主枝を1–2本と、突起状に萌出した数mmの新主枝を1本有していた。8月には、全長1 cm程度の幼体期の

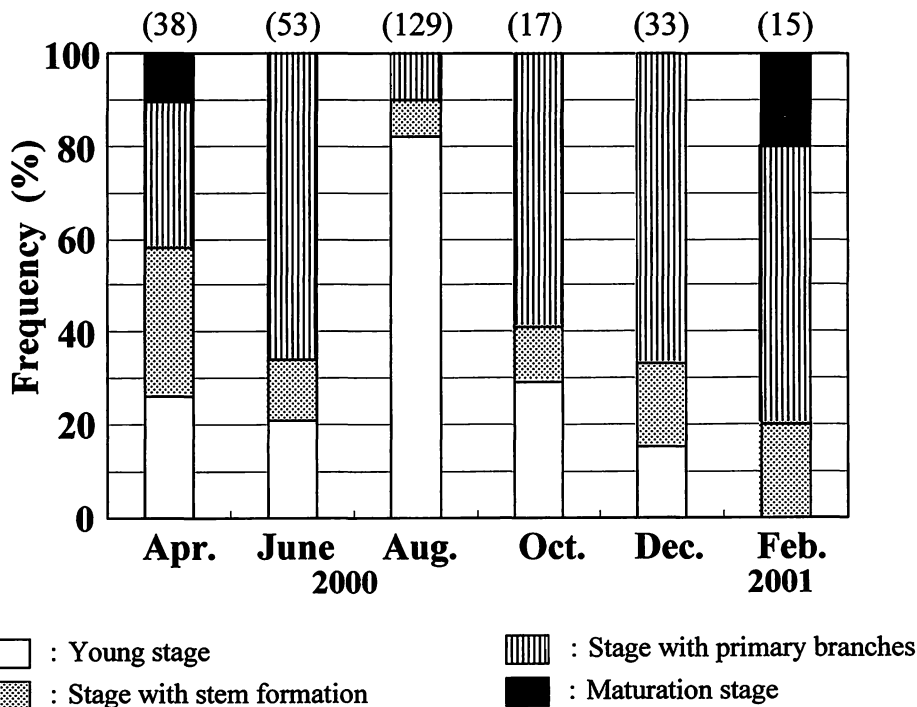


Fig. 4. Seasonal change in frequency of the developmental stages in the *S. fulvellum* population in Atada-jima Is. from April 2000 to February 2001.

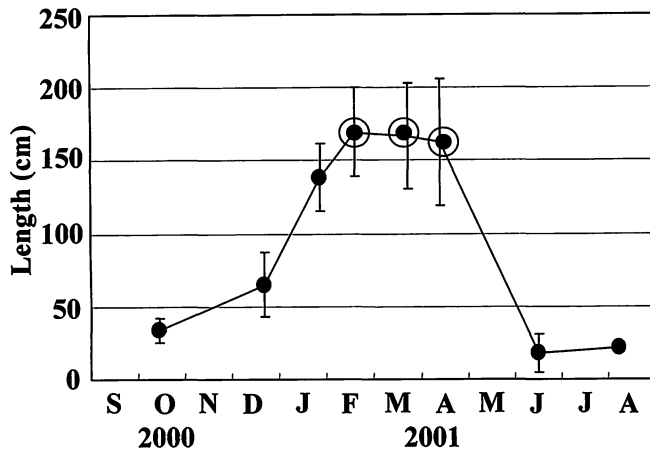


Fig. 5. Seasonal change in plant length of *S. fulvellum* (mean of 6–10 large plants with SD) at Atada-jima Is. Points with circle show that plants had receptacles.

個体が、全個体数の82%を占めた。幼体は偏在したため、その生育密度には、方形枠により44–424個体/m²の差異があった。幼体期の個体は秋から冬にかけて大きく減少し、代わって茎形成期と主枝伸長期の個体が増加した。主枝伸長期の個体は10月に59%、12月に67%で最も頻度が高かった。2月には全長1mを越える個体が出現し、成熟を開始した個体も見られた。しかし、成熟期の個体の頻度は20%であり、主枝伸長期の個体が60%と引き続き最も多かった (Fig. 4)。

群落内のホンダワラの大型個体を選別し、測定した全長の推移を Fig. 5 に示した。ホンダワラの大型個体は、それらが混生するノコギリモク群落の縁辺部に多く、特に群落と砂泥質海底との境界付近に比較的まとまって生育していた。その全長の平均は10月には34cmであったが、12月以降急速に増加し、2月に年間の最大である169cmに達した。2月には採集した全個体が成熟していた。4月から6月にかけて生殖器床を有した古い主枝が流失したため、6月の全長の平均は17cmで年間最小となった。その後8月にかけて全長は緩やかに増加した。

2月と3月に採集された成熟個体計15個体のうち、2個体が生殖器床を形成した主枝を2本有し、他の個体は1本を有した。生殖器床を有した主枝は、長さが60–200cmの範囲にあった。全ての成熟個体が、生殖器床を有しない10cm未満の若い主枝を2–3本有した。

2001年2月および4月に採集した主枝伸長期、成熟期の個体 (n = 24) の茎高の範囲は0.7–2.7cmであり、その頻度は1.0cm以上1.5cm未満が70.8%を占め、1.0cm未満および1.5cm以上2.0cm未満がそれぞれ12.5%、また2.5cm以上3.0cm未満が4.2%であった。平均茎高は1.1 ± 0.4cm (平均 ± 標準偏差) であった。

水槽で培養した個体の成長・成熟、生存期間および形成主枝数

Fig. 6 に、2001年4月から5年間の円形水槽中の各月別平均水温を年度ごとに示した。水温は年度による差異が認められ

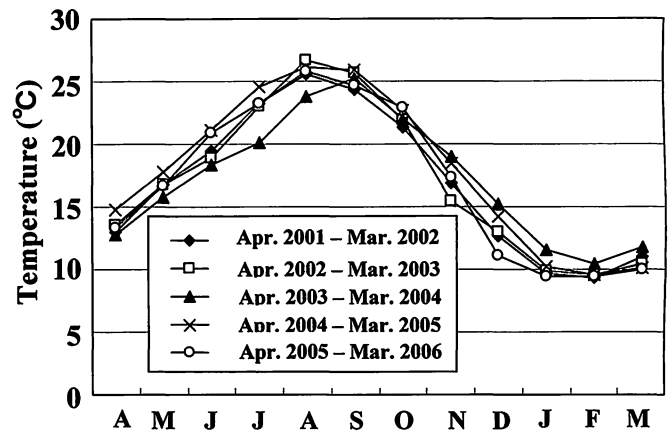


Fig. 6. Water temperature in the outdoor tank, averaged for each month along the age of cultured *S. fulvellum* plants from April 2001 to March 2006.

るものの、2003年度を除き8月に25.6–26.6°Cで最高になり、2月に9.4–9.6°Cで最低となった。2003年度は夏季の水温上昇が遅く、9月に25.2°Cで年最高になり、冬季の水温の低下が2004年2月の10.5°Cに留まった。瀬戸内海区水産研究所の立地する広島県廿日市市地先海域の、上記の5年間の表層水温は、8月の月平均値が26.0–27.4°C、また2月の月平均値が9.7–10.7°Cであった。水槽中の水温は、地先海域の表層水温に比べ若干低めではあったが、年間を通じてほぼ同様に推移した。

2001年4月10日には、コンテナ内に設置した基質上に多数の発芽が確認された。放出時の幼胚のサイズを、同じコンテナ内の母藻から4月10日に放出されたものについて測定したところ、長径247 ± 23 μm、短径180 ± 19 μm (平均 ± 標準偏差, n = 20) であった。同年4月24日の基質上の幼体の密度は60–120個体/cm² (平均82個体/cm²) であった。1年後の2002年4月には、計数を行った2基の基質上に69個体が認められ、そのうち74%が基質の側面に着生し、基質の全表面の生育密度は616個体/m²であった。これらの2基の基質上の全個体数は、2002年7月には51個体 (455個体/m²) に、2003年11月には27個体 (241個体/m²) に減少したが、その後は全個体が枯死する直前の2005年8月まで変わらなかった。個体が減少する要因として、茎部の腐食による脱落が頻繁に観察されたが、全個体が枯死した2005年10月には藻体全体が溶解する状態を呈した。なお、基質上で成長・成熟した藻体が幼胚を放出したことにより、培養期間中に水槽の底面・側面に多数のホンダワラが発芽し成長したが、基質上での新規の発芽は見られなかった。また、基質上のホンダワラの付着器縁辺から多数の不定芽の発芽 (三浦・中林 2003) も観察されたが、成長せずに全て枯死した。

Fig. 7 に基質上のホンダワラの全長の変化と生殖器床の形成時期を示した。発芽以後の幼体は、2001年5月7日に平均全長が0.5cm、6月25日に0.8cmとなり、この間の成長は緩慢であった。7月30日には、頂端の円い長楕円形の茎葉を2

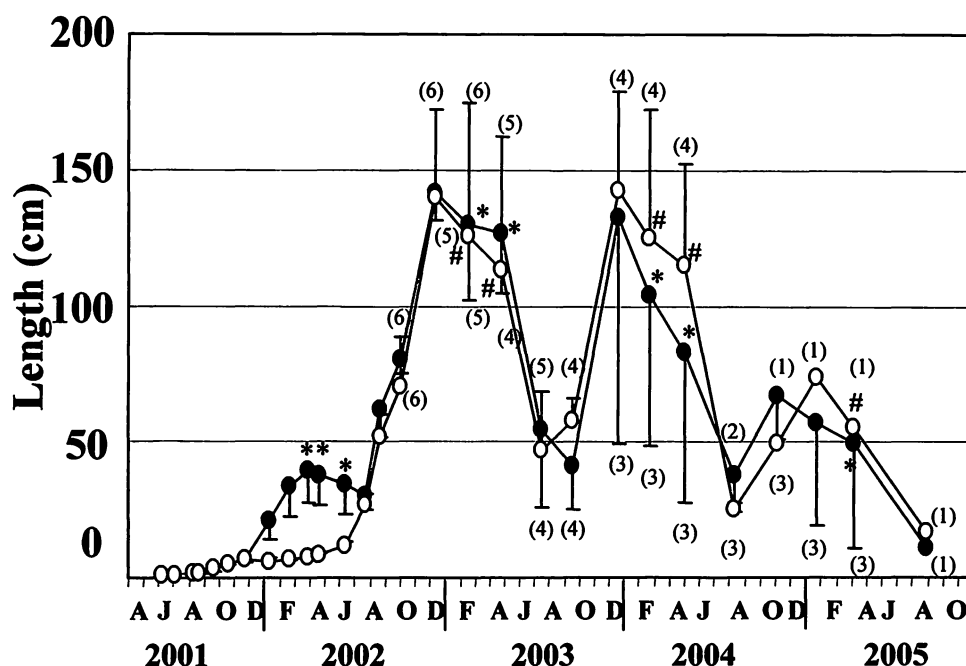


Fig. 7. Mean plant length with SD in cultured *S. fulvellum* of Group A (solid circles with one-sided SD bar downward) and Group B (open circles with one-sided SD bar upward). Group A began to elongate in the first year (age 0) and Group B did not. Symbols appended to circles (* for Group A and # for Group B) show that plants were observed to have receptacles. Numerals in brackets appended to the SD bars after September 2002 indicate the number of plants remained. Initial numbers (6 for each group) were not shown till September 2002.

−3枚有し、全長は1.6 cmであった。その後8月から9月にかけて、長径2–3 cmの茎葉が連続的に形成された。10月9日には、茎葉間に間隔が生じて茎として明瞭に確認され、平均全長は5.2 cmに達した。主枝の形成は同年11月13日に確認され、2–3 cmに伸長した第1主枝の基部付近から、すでに突起状の第2主枝の発出も見られた。平均全長は6.6 cmであった。

2001年12月以降は、第1主枝が伸長を継続したA群と、伸長が停滞したB群のそれぞれについてデータを示した (Fig. 7)。12月28日のA群およびB群の平均全長は、それぞれ20.5および6.2 cmであった。A群の第1主枝はその後伸長を続け、2002年3月15日に平均全長が39.2 cmになった。同日には、全個体の第1主枝上に生殖器床の形成も確認された。1齢となった4月以降、A群の平均全長は第1主枝の衰退に伴い漸減したが、2002年7月8日まで第2主枝以下が伸長を開始したため、これ以降全長は増加に転じた。一方B群は、冬季から春季の全長の増加がA群と比較し極めて緩慢で、生殖器床の形成も見られなかった。しかし、2002年6月以降に第1主枝が伸長を開始したため、全長は急速に増加した。2002年7月のA群とB群の平均全長は、それぞれ30.2および26.6 cmであった。

2002年7月以降、A群とB群の平均全長はほぼ同様に推移した。夏季から秋季にかけて急速に伸長し、2002年11月25日にそれぞれ141 cm (A群) および139 cm (B群) で、1齢における最大全長に達した。その後2003年4月まで両群とも全長は漸減し、同年2月には生殖器床が形成された。4月以降は成熟した主枝の流失により全長は減少し、A群は

2003年8月に、B群は6月に、それぞれ41および47 cmで2齢における最小の平均全長を記録した。その後は、新主枝の伸長により全長は再び増加し、11月30日に132 cm (A群) および142 cm (B群) で、2齢における最大全長に達した。生殖器床は、両群とも2004年2月に確認された。3齢となった2004年4月以降は、全長は両群とも8月に最小となった後増加に転じた。しかし、主枝は前年までと比較し伸長量が小さく、A群、B群の平均全長はそれぞれ2004年10月10日および12月28日に、67 cm、74 cmに達した後減少した。両群の3齢における生殖器床は、前年までと比較し季節的に遅い2005年3月に形成された。4齢である2005年8月には、茎の先端にはさらに新しい主枝が発出していたが、同年10月には全個体が枯死した。

Fig. 8に、A群の2個体 (Fig. 8a, b) とB群の1個体 (Fig. 8c) の、各主枝の形成と伸長のパターン、および各主枝における生殖器床の形成時期を示した。1–2 mm程度の突起として発出した主枝が、長さ1 cm以上にまで伸長するのに1ヵ月以上を要するため、個体に加齢する毎年4月に長さ1 cm以上の主枝が新たに確認された場合は、当該主枝は加齢する以前に発出したものと判断した。

0齢の間に、A群は第4主枝 (個体a) ないし第5主枝 (個体b) まで発出し、B群 (個体c) は第3主枝まで発出した (Fig. 8)。これらの主枝は、A群の第1主枝を除き、1齢の間に大きく伸長した。先に発出した主枝が途中で切れた場合、後続の主枝の伸長が上回ることもあり、切れた主枝はそのまま伸長が停止するか側枝が代わって伸長を開始した。個体a

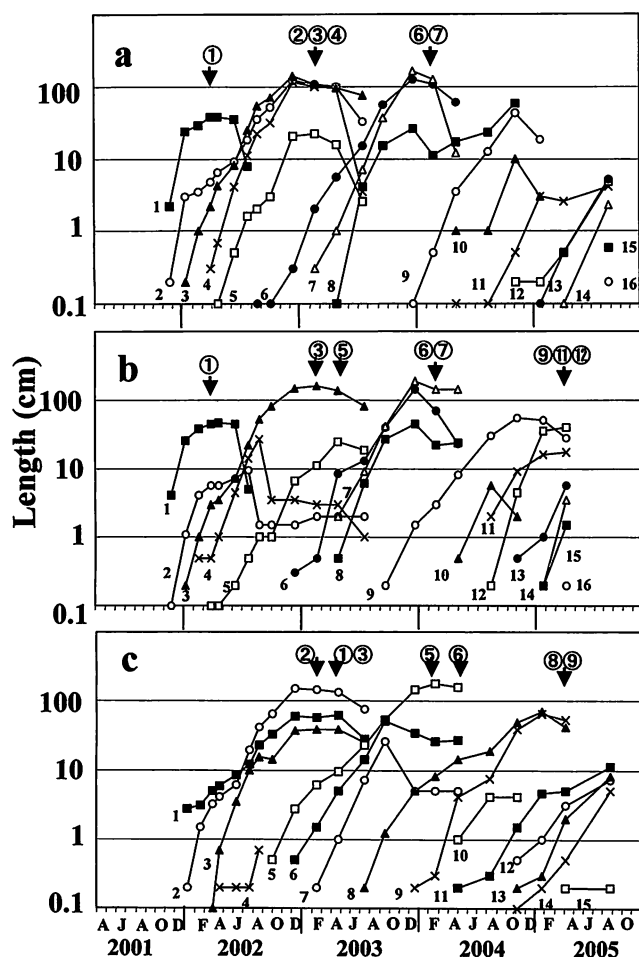


Fig. 8 Formation and elongation patterns of primary branches in 3 *S. fulvellum* plants cultured in the outdoor tank. Plants a and b belonged to the Group A, and plant c to Group B. Numerals at the bottom show the order of primary branches in formation and numerals in circle with arrows show the receptacle formation of the ordered branches.

の第2, 第3, 第4主枝は2002年11月に115–142 cmに達し, 2003年2月には生殖器床が形成された (Fig. 8a)。個体bの第2, 第4主枝は2002年7月および8月に途中で伸長を停止し, 第3主枝のみが伸長し同年11月に148 cmに達した (Fig. 8b)。個体bの生殖器床は, 2003年2月に第3主枝で, また同年4月に25 cmに達した第5主枝で形成された。途中で伸長を停止した第2, 第4主枝は, 生殖器床を形成しないまま脱落した。個体cの第2主枝は, 2002年7月に先端が切れた第1主枝を上回り, 11月に154 cmに達した (Fig. 8c)。生殖器床は2003年2月に第2主枝で, また同年4月に, 側枝が伸長し62 cmに達した第1主枝と, 39 cmの第3主枝で形成された。これらの3個体で, 0齢の間に形成され1齢の間に伸長した主枝は, 生殖器床の形成の有無に関わらず, 2齢となった2003年6月以降に茎から脱落した。

1齢の間には, 3個体において第7主枝までが新たに発出した。これらの主枝は, 0齢の間に形成された主枝が2003年6月以降脱落すると, それに代わり2齢の間に大きく伸長し

た。個体a, bの第6, 第7主枝, および個体cの第5主枝は2003年11月に長さ1 m以上になり, 2004年2月に生殖器床を形成した。一方個体cの第6主枝は2003年8月以降伸長を停止したものの, 3齢となった2004年4月に長さ27 cmで生殖器床を形成した。

2齢の間には, 第11 (個体a) ないしは第10 (個体b, c) 主枝までが発出した。全長の結果でも述べたように, これらの主枝の3齢の間の伸長は低調であった。しかし, 2005年3月には, 個体bの第9主枝上で, また個体cの第8, 第9主枝上で生殖器床が形成された。さらに個体bでは, 3齢の中途の2004年7月に発出が確認された第11, 第12主枝についても, 同年齢中の2005年3月に生殖器床が形成された (Fig. 8b)。これらの3齢時に生殖器床を形成した主枝の長さは17–53 cmの範囲にあった。

3齢の間に, 個体a, b, cはそれぞれ第14, 第16, 第15主枝までを発出したが, 個体bは2005年3月以降枯死した。また個体aは4齢の2005年8月にも第15および第16主枝を発出していたが, 同年10月に枯死した。個体cについては4齢になってからの新たな主枝の発出は見られず, やはり2005年10月に枯死した。

個体a, b, cは, 4年もしくは4年6ヵ月の生育期間にそれぞれ16, 16, 15本の主枝を形成し, そのうちそれぞれ5, 3, 2本が長さ1 mを越え, それぞれ6, 8, 7本が生殖器床を形成した (Fig. 8)。主枝の形成から, 生殖器床の形成および脱落するまでの平均期間は, A群の第1主枝を除きそれぞれ14および16ヵ月であった。

Table 1に, 個体識別したホンダワラが各齢において新たに発出した主枝数の平均を示した。1年間に発出する主枝は, 0–2齢の間は平均2.7–3.4本, 3齢では5.3本, 4齢では8月までに0.7本が発出し, 4齢まで生残した個体が形成した全主枝数は, 平均で14.9本であった。

Fig. 9に全標識個体の平均茎高の変化を示した。主枝の形成に伴い, 茎高は徐々に高くなり, 培養期間に比例してほぼ直線的に増加した。培養開始後, 個体が毎年加齢する前後の2002年3月, 2003年4月, 2004年4月および2005年3月の平均茎高は, それぞれ0.9 cm, 1.9 cm, 3.3 cm, 4.4 cmであった。

考察

ホンダワラは1年生であると記載されてきたが, 成熟した個体が次代の短い主枝を有していることから, 複数年生育する可能性も指摘されてきた (吉田 1985)。一方, 増養殖の試験研究においては, 従来から本種が数年生存することが知られていた。秋田県および京都府の試験研究では, ホンダワラの種苗を水槽内で一定期間育成した後, 海域への移植が行われている。そこでは, 種苗は通常採苗後1年間主枝の伸長を示さず, 1齢になり主枝の伸長が始まった後に海域に移植されている (三浦・中林 1999, 2000, 秋田県・京都府 2005)。主枝の伸長後, 1齢から2齢の移行時に生殖器床の形成が見られるので, 成熟には採苗してから約2年を要している。また,

Table 1. Mean number of new primary branches produced per plant at each age of *S. fulvellum* cultured in the outdoor tank.

	Age					Total
	0	1	2	3	4*	
Number of specimens	12	11	7	4	3	
Mean number of new branches produced	3.4	2.8	2.7	5.3	0.7	14.9

*Value at age 4 is a mean number during 4 months (April–July 2005) because all plants were dead up to October 2005.

秋田県では、1回目の成熟後2齢の途中でほとんどの個体が枯死し、2回目の成熟に至った個体は2個体のみであったと報告されている（三浦・中林 2001, 秋田県・京都府 2005）。海域に移植後の主な死亡要因として、夏季に茎や主枝が破損し、藻体が流失することがあげられており、高水温の影響と考察されている（三浦・中林 2001, 秋田県・京都府 2005）。

本研究では、ホンダワラが水槽培養下では最長で4齢まで生残し、3齢まで成熟することを確認した。また、1齢になった直後の2001年4月までの生残個体数（69個体）と、全個体が枯死する直前の2005年8月までの生残個体数（27個体）から、1齢から4齢までの生残率は約40%であった。前述の秋田県（三浦・中林 2001）における例では生残率は示されていないが、3齢まで生残する個体はわずかであった。それと比較し、水槽内で培養を続けた本研究では1齢以降の生残率は極めて高かったと考えられる。

秋田県の事例と本研究における生残率の違いの主な要因として、海水流動の差異があげられる。ホンダワラの付着器は仮盤状であり、盤状や円錐状の付着器を有する他のホンダワラ類に比べ固着力が弱い（吉田 1985）。また、ノコギリモクのように毎年茎径が顕著に増加する（村瀬 2001）こともないため、波浪など海水流動の大きい環境中では、加齢に伴い茎部の損傷による個体の流失の確率も高くなる。本研究においても茎の腐食による藻体の脱落が観察されたが、水槽内では海水流動がほとんど無いため、多くの個体が“高齢”になるまで生残し得たものと思われる。また、1齢以降の個体数の減少の様子から、基質からの脱落が夏季に特に多く起こったとは考えられず、この点でも秋田県の事例と一致しなかった。本研究の水槽における夏季の最高水温は25.2–26.6℃であり、一方秋田県でホンダワラが育成された海域の8月の平年水温は25.7℃（三浦・中林 2004）で、夏季の水温環境には大きな差は無い。しかし、高水温が藻体に何らかの負の影響を与え、さらに波浪などの物理的要因が複合的に作用することにより、天然海域では夏季に減耗が大きくなる可能性はある。

本研究では0齢で第1主枝が伸長し成熟に至る個体と、主枝を形成するが伸長が停滞する個体に明瞭に分かれた。前者の割合は低く、個体を標識して追跡した2基の基質上では、全69個体のうち6個体のみであった。同様の現象は秋田県のホンダワラ種苗でも観察されており、栄養塩の添加が0齢個

体の主枝伸長に有効であったと報告されている（三浦・中林 2000）。また、長崎県では、藻場造成を目的とした本種の増殖が試みられており、採苗後海域に沖出しした種苗は魚類による食害で多くは消失するが、食害を免れた個体は主枝を伸長し、採苗後約9ヵ月後には全長40 cmに達したと報告されている（吉田・西川 1974）。したがって、ホンダワラは0齢で主枝が伸長する個体と未伸長の個体がある。それが各個体の遺伝的特性によるものか、あるいは環境要因によるものかは不明であるが、0齢で主枝が伸長・成熟した個体と未伸長であった個体の間には、1齢以降の生存期間、形成主枝数などには大きな差異は無かった。

本研究では、約4.5年の最大生存期間の間に、1個体当たり平均15本程度の主枝を形成した。そのうち長さが1 m以上に達する主枝や、生殖器床を形成する主枝は比較的少なかった。最も伸長が旺盛であった1齢、2齢時においても多くの主枝が途中で伸長を停止した。基質上では比較的多くの個体が生残したため、伸長期には密生状態を呈し、個体間もしくは主枝間で光などをめぐる競合が起こった結果、多くの主枝が伸長出来なかった可能性がある。したがって、本数や伸長の度合いを考慮した主枝の「生産量」と、基質上の個体密度の間には何らかの量的関係があるものと考えられる。本種の増養殖をはかる場合、食用資源としての価値を持つ主枝の生

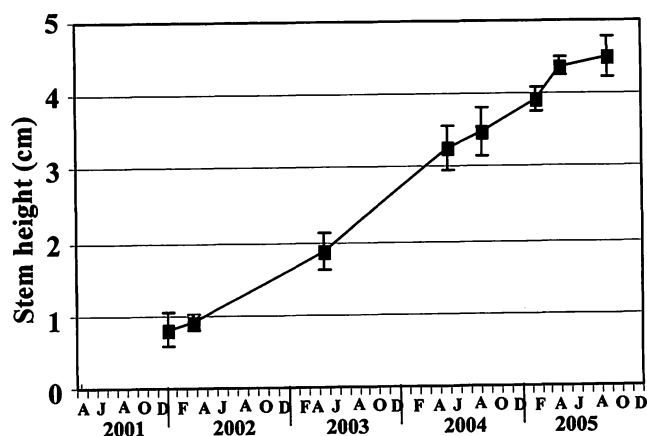


Fig. 9. Change in stem height in cultured *S. fulvellum*. Open circles show the value of individual plants and solid circles show the mean. Regression line (culture days vs. stem height) is also shown.

産量が最大となる適正な生育密度を明らかにする必要がある。また天然個体を漁獲する場合、1 齢もしくは 2 齢の個体が対象となると思われるが、これらの年齢の個体は継続的に主枝を形成するので、漁獲にあたっては付着器から引き抜かず茎以下を残す（秋田県・京都府 2005）などの配慮が、生産の持続性の観点から必要であろう。

本研究より、茎高はホンダワラの年齢の推定に有効な形質である可能性が示唆された。培養した個体の茎高は毎年およそ 1 cm ずつ増加した。2001 年 2 月と 4 月の阿多田島の天然個体群の茎高の範囲 0.7–2.7 cm は、水槽で培養した個体の 1–3 齢の平均茎高 0.9–3.3 cm と近似していた。したがって、全ての個体が、生殖器床が形成される 2–4 月に幼胚として放出されたと仮定すれば、天然個体群は同期中に満 1–3 齢になる個体により構成されていると考えられる。また、同時期の天然個体群は茎高が 2 cm 未満の個体が 95% 以上であることから、1 齢もしくは 2 齢の個体がほとんどを占めていると考えられる。

ホンダワラ類では、成長輪（Yoshida 1960, 名畑ら 1981）、茎径（村瀬 2001）や分枝のパターン（Umezaki 1985）などを年齢形質として、天然の個体群の年齢組成が推定されている。九州・津屋崎のヤナギモク *S. ringgoldianum* subsp. *coreanum* (J. Agardh) Yoshida の個体群は、1–2 齢の若い個体で主に構成され、最高齢の個体は 6–7 齢である（Yoshida 1960）。また、日本海のノコギリモクでは、群落の更新は 4–5 年で起こるものの、最高では 9 齢の個体が見られている（村瀬 2001）。本研究の培養ホンダワラは最長で 4.5 年生育したが、海水流動も小さく競合種もいない水槽内では、天然の生育環境下と比較しはるかに長期の生存が可能であり、結果的に個体の年齢組成も大きく異なった。

これまでホンダワラの優占群落については、京都府網野地先の事例（道家ら 2004, 八谷ら 2005）しか報告がない。同海域のホンダワラは、水深 5–6 m の投石帯で群落を作るが、ヨレモク *S. siliquastrum* (Turner) C. Agardh などかなり混生する。本研究を実施した広島湾・阿多田島では、ホンダワラはノコギリモクの優占群落に混生し、その密度は幼体期を除き低い。同調査地ではノコギリモクの方が生態的に優位であり、多くの場合発芽してもその後の生育が不可能であるものと思われる。しかし、群落の周縁部の砂泥底との境界域では比較的高密度で生育する場所も認められ、ホンダワラは比較的漂砂の影響の大きい場所に生育するとした寺脇ら（1996）の報告と一致した。ホンダワラ類の植生は海水流動や漂砂、基質の反転の頻度など物理環境と密接に関連している（今野 1985）とされている。ホンダワラが安定的に優占しうる物理環境の定性・定量的評価を進め、群落の維持・拡大をはかる技術を開発することも、本種の増殖を進める上で必要であろう。

謝辞

本研究にあたり、有益な情報を提供いただいた秋田県水産振興センターの三浦信昭氏（現秋田県水産漁港課）に謝意を表する。

引用文献

- 秋田県・京都府 2005. III. ホンダワラ, pp. 29–59. ホンダワラ類等有用海藻類の増養殖技術開発に関する研究総括報告書（平成 12～16 年度）, 青森県・秋田県・新潟県・福井県・京都府, 新潟.
- 道家章生・西垣友和・八谷光介・和田洋藏 2004. 京都府網野地先に設置した基質に形成されたホンダワラ群落の遷移, 京都海洋セ研報 26: 9–14.
- 池原宏二 1987. 日本海沿岸における食用としてのホンダワラとアカモク, 藻類 35: 233–234.
- 今野敏徳 1985. ガラモ場・カジメ場の植生構造, 月刊海洋科学 17: 57–65.
- 三浦信昭・小林信康 1999. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク）, pp. 314–325. 平成 9 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 三浦信昭・小林信康 2000. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク）, pp. 275–284. 平成 10 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 三浦信昭・小林信康 2001. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク, エゴノリ）, pp. 187–189. 平成 11 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 三浦信昭・小林信康 2002. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク, エゴノリ）, pp. 196–200. 平成 12 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 三浦信昭・小林信康 2003. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク, エゴノリ）, pp. 235–240. 平成 13 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 三浦信昭・小林信康 2004. 地域特産藻類増養殖技術開発研究（ホンダワラ, アカモク, エゴノリ）, pp. 205–212. 平成 14 年度秋田県水産振興センター事業報告書, 秋田県水産振興センター, 秋田.
- 村瀬昇 2001. 褐藻ノコギリモク *Sargassum macrocarpum* C. Agardh の生態学的研究, 水産大学校研究報告 49: 131–212.
- 名畑進一・新原義昭・松谷実・武井文雄 1981. 利尻島におけるフシスジモク *Sargassum confusum* の生態, 北水試報 23: 53–64.
- 岡村金太郎 1936. 日本海藻誌, 内田老鶴圃, 東京.
- 寺脇利信・吉田吾郎・吉川浩二・有馬郷司 1996. 瀬戸内海西部における基質の高さ別のホンダワラ植生の観察, 南西水研報 29: 49–58.
- 寺脇利信・吉川浩二・吉田吾郎・内村真之・新井章吾 2001. 広島湾における大型褐藻類の水平・垂直分布様式, 瀬戸内海水研報 3: 73–81.
- Umezaki, I. 1985. Growth of the stem in *Sargassum ringgoldianum* Harv. subsp. *coreanum* (J. Ag.) Yoshida in Obama Bay, Japan Sea. Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 51: 1441–1445.
- 八谷光介・西垣友和・道家章生・井谷匡志・和田洋藏 2005. 京都府網野地先に設置した基質に形成されたホンダワラ群落の遷移 II –ホンダワラ群落の生産構造図とフシスジモクの年齢構成–, 京都海洋セ研報 27: 19–24.
- 吉田範秋・西川博 1974. 藻場造成に関する研究, pp. 117–124. 昭和 48 年度増養殖に関する研究報告–II, 長崎県水産試験場増養殖研究所, 長崎.
- Yoshida, T. 1960. On the growth rings found in the root of *Sargassum ringgoldianum* Harvey (Fucales). Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 26: 673–678.
- 吉田忠生 1985. ホンダワラ類の分類と分布 [5] *Teretia* 節の種類–2, 海洋と生物 38: 200–203.
- 吉田忠生 1998. 新日本海藻誌, 内田老鶴圃, 東京.
- 有用海藻増殖研究会 2005. 日本海沿岸の海藻に関する情報(2)海藻の食べ方, 藻類 53: 59–63.

(Received January 4, 2007; Accepted October 18, 2007)